

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-182452

(43) 公開日 平成9年(1997)7月11日

(51) Int.Cl. ⁶	識別記号	弁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 2 M 7/48		9181-5H	H 0 2 M 7/48	Q
		9181-5H		F
7/5387		9181-5H	7/5387	Z

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 23 頁)

(21) 出願番号 特願平7-336882

(22) 出願日 平成7年(1995)12月25日

(71) 出願人 000006013

三菱電機株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号

(72) 発明者 土谷 多一郎

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三

菱電機株式会社内

(72) 発明者 岡山 秀夫

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三

菱電機株式会社内

(72) 発明者 小山 正人

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三

菱電機株式会社内

(74) 代理人 弁理士 宮田 金雄 (外3名)

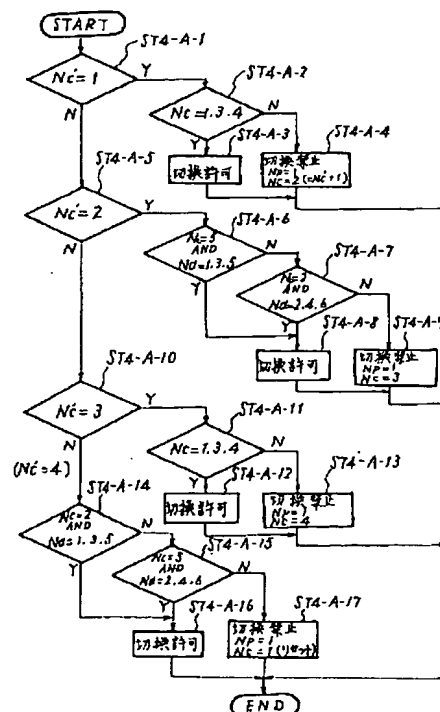
BEST AVAILABLE COPY

(54) 【発明の名称】 3レベルインバータ装置

(57) 【要約】

【課題】 電圧ベクトルPWM方式において、異なるPWMモード間の切換を円滑に実行できる3レベルインバータ装置は知られていなかった。

【解決手段】 出力周波数指令 f^* がPWMモード切換周波数 f_1 に達して第1の切換許可信号が出力されると、その時点のPWM周期 Nc' に対応して切換えた場合の切換え直後のPWM周期 Nc を求め、これが切換判定条件を満足するか否かを判断し、満足する場合は当該PWM周期 Nc への移行を実行し、非同期PWMモードから同期PWMモードへの切換を行う。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 中性点出力端子を有する直流電源の正極と負極との間に、順次、第 1 ないし第 4 のスイッチング素子を直列接続するとともに、上記第 1 と第 2 のスイッチング素子の接続点および第 3 と第 4 のスイッチング素子の接続点をダイオードを介して上記中性点出力端子に接続してなり、上記第 2 と第 3 のスイッチング素子の接続点をインバータの出力端子とする 3 レベルインバータを 3 相分設け、上記各相のスイッチング素子のスイッチング状態に対応して定まる電圧ベクトルを、周期毎に与えられる電圧指令ベクトルに応じて順次パルス幅変調

(PWM) により出力することにより電圧を制御する 3 レベルインバータ装置であって、上記 PWM 周期が電圧指令ベクトルの周波数によらず一定である非同期 PWM モードと上記 PWM 周期の逆数が電圧指令ベクトルの周波数の整数倍となるように当該 PWM 周期が変化する同期 PWM モードとを備え、上記電圧指令ベクトルの周波数に応じて、上記非同期 PWM モードと同期 PWM モードとの間、または互いに異なる同期 PWM モードの間の PWM モード切換を行うように構成されたものにおいて、

上記電圧指令ベクトルの周波数が所定の切換基準値に達したとき切換信号を出力する手段、および上記切換信号が出力された時点の PWM 周期における最後の電圧ベクトルと、切換えた場合の切換直後の PWM 周期における最初の電圧ベクトルとが同一のスイッチング状態にあるかまたは一対のスイッチング動作で移行可能なスイッチング状態にあるという切換判定条件のもとで PWM モードの切換を実行する手段を備えたことを特徴とする 3 レベルインバータ装置。

【請求項 2】 電圧ベクトルの座標系に、位相角を等分割してなる 6 つの区間と、これら各区間に電圧ベクトルの互いに隣接する 3 つの接点を結んでなる 4 つの領域とを設定し、PWM モード毎に電圧指令ベクトルが取得する上記区間および領域に応じて各 PWM 周期における電圧ベクトルの出力順序を予め決定し、これら電圧ベクトルおよびその出力順序を記憶する手段を備え、上記記憶された電圧ベクトルおよびその出力順序に基づき、PWM モードの切換判定条件の判断を行うようにしたことを特徴とする請求項 1 記載の 3 レベルインバータ装置。

【請求項 3】 非同期 PWM モードまたは同期 PWM モードである第 1 の PWM モードから同期 PWM モードである第 2 の PWM モードへ切換える場合において、切換信号が出力された時点の上記第 1 の PWM モードの PWM 周期における電圧指令ベクトルの位相角 θ_1 を検出する手段、上記位相角 θ_1 との差が所定値以内の位相角 θ_0 を有する上記第 2 の PWM モードの PWM 周期を選択する手段、および上記選択された第 2 の PWM モードの PWM 周期と上記第 1 の PWM モードの PWM 周期とが切換判定条件を満足するか否かを判断する手段を備えたこ

とを特徴とする請求項 2 記載の 3 レベルインバータ装置。

【請求項 4】 同期 PWM モードから非同期 PWM モードへ切換える場合において、上記同期 PWM モードの各 PWM 周期の最初と最後の電圧ベクトルに中性点電圧ベクトル（直流電源の中性点出力端子に電流の出入を生じさせる電圧ベクトル）を配し、上記非同期 PWM モードの各 PWM 周期の最初と最後の電圧ベクトルに零電圧ベクトル（すべての線間電圧が零となる電圧ベクトル）を配するようにしておき、切換信号が出力された時点の上記同期 PWM モードの PWM 周期との間で切換判定条件を満足する上記非同期 PWM モードの PWM 周期を選択し、この選択された上記非同期 PWM モードの PWM 周期へ切換えを実行する手段を備えたことを特徴とする請求項 2 記載の 3 レベルインバータ装置。

【請求項 5】 異なる PWM モードへ切換えるための切換信号を出力する場合の電圧指令ベクトルの周波数の切換基準値として、上記電圧指令ベクトルの周波数の増加時に設定する値より減少時に設定する値を小さくしたことを特徴とする請求項 1 ないし 4 のいずれかに記載の 3 レベルインバータ装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 この発明は、パルス幅変調 (PWM) により出力電圧が制御される 3 レベルインバータ装置の、特に複数の PWM モード間の PWM モード切換方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 従来、インバータの PWM 方式の 1 つとして、変調信号である三角波と基準信号である正弦波とを比較して PWM 信号を作成する、いわゆる三角波比較 PWM 方式が知られている。図 28 は PWM 信号作成方法の概要を示す波形図である。図 28 (1) において、正弦波は基準信号を示し、三角波は変調信号を示している。正弦波と三角波との大きさを比較することで得られる PWM 信号は図 28 (2) のように、例えば正弦波が三角波より大きい範囲ではオン信号、また三角波が正弦波より大きい範囲ではオフ信号である。そして、この PWM 信号がインバータを構成する各スイッチング素子へオン、オフ信号として与えられる。

【0003】 ところで、PWM 方式は変調信号と基準信号との関係により非同期 PWM モードと同期 PWM モードとに分類される。例えば三角波比較 PWM 方式の場合、非同期 PWM モードでは変調信号の周波数は基準信号の周波数によらず一定であり、同期 PWM モードでは変調信号の周波数は基準信号の周波数の整数倍である。この非同期 PWM モードでは、変調信号と基準信号との周波数比が十分に大きくないと、インバータの出力電圧に低次の高調波が発生したり、電流リップルが増加するなどの不具合が発生する。また、インバータに使用する

半導体スイッチング素子の特性やインバータの損失などの理由により、一般に変調信号の周波数には上限が設けられている。したがって、変調信号と基準信号との周波数比が十分に大きくとれない場合には、非同期PWMモードと同期PWMモードとを組み合わせることでインバータを駆動している。つまり、インバータの出力周波数が低周波領域の場合には非同期PWMモードで駆動し、高周波領域の場合には同期PWMモードに切替えて駆動している。

【0004】非同期PWMモードと同期PWMモードとを組み合わせることでインバータを駆動する場合、非同期PWMモードから同期PWMモードへのPWMモード切替時点には、変調信号の周波数が大幅に減少する。変調信号の周波数にこのような偏差がある場合、基準信号と変調信号との位相偏差を考慮せずに非同期PWMモードから同期PWMモードへのPWMモード切替を行うと、変調信号である三角波の波形に不連続が生じることがある。この不連続はインバータの出力電圧に電圧変化を生じさせ、その結果として電流リップルが増大し過電流を生じさせることになる。

【0005】このような波形不連続を生じさせないための方法としては、例えば、特公平6-32561号公報に示されているように、非同期PWMモードの変調信号の位相と同期PWMモードの変調信号の位相とを検出し、これら2つの位相の一致点で非同期PWMモードから同期PWMモードへのPWMモード切替を行う方法が知られている。

【0006】一方、最近では、直流電源の正極と負極との間に中性点出力端子を備え、3レベルの電圧を出力可能とするいわゆる3レベルインバータが開発され、2レベルインバータに比較して、出力電圧の高調波を低減できることからその用途の拡大が図られている。そして、この場合、例えば、特開平5-211775号公報に示されているように、上述した三角波比較PWM方式に替わって、各相のスイッチング状態に対応して定まるいわゆる電圧ベクトルの概念を導入してPWM制御を行う方式が新たに適用されている。

【0007】ところで、この電圧ベクトルPWM方式においても、その出力周波数に関連して、前述したスイッチング素子やインバータの損失などを考慮すると、非同期PWMモードと同期PWMモードとを組み合わせる制御構成が要請される。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】この場合、その異なるPWMモード間の切替にあたっては、従来の三角波比較PWM方式のときとは違った方式が必要となる。この発明は、以上の要求に応えるためになされたもので、電圧ベクトルPWM方式において、異なるPWMモード間の切替を円滑に制御できる3レベルインバータ装置を得ることを目的とする。

【0009】

【課題を解決するための手段】請求項1の発明に係る3レベルインバータ装置は、中性点出力端子を有する直流電源の正極と負極との間に、順次、第1ないし第4のスイッチング素子を直列接続するとともに、上記第1と第2のスイッチング素子の接続点および第3と第4のスイッチング素子の接続点をダイオードを介して上記中性点出力端子に接続してなり、上記第2と第3のスイッチング素子の接続点をインバータの出力端子とする3レベルインバータを3相分設け、上記各相のスイッチング素子のスイッチング状態に対応して定まる電圧ベクトルを、周期毎に与えられる電圧指令ベクトルに応じて順次パルス幅変調(PWM)により出力することにより電圧を制御する3レベルインバータ装置であって、上記PWM周期が電圧指令ベクトルの周波数によらず一定である非同期PWMモードと上記PWM周期の逆数が電圧指令ベクトルの周波数の整数倍となるように当該PWM周期が変化する同期PWMモードとを備え、上記電圧指令ベクトルの周波数に応じて、上記非同期PWMモードと同期PWMモードとの間、または互いに異なる同期PWMモードの間のPWMモード切替を行うように構成されたものにおいて、上記電圧指令ベクトルの周波数が所定の切替基準値に達したとき切替信号を出力する手段、および上記切替信号が出力された時点のPWM周期における最後の電圧ベクトルと、切替えた場合の切替直後のPWM周期における最初の電圧ベクトルとが同一のスイッチング状態にあるかまたは一対のスイッチング動作で移行可能なスイッチング状態にあるという切替判定条件のもとでPWMモードの切替を実行する手段を備えたものである。

【0010】請求項2の発明に係る3レベルインバータ装置は、請求項1において、電圧ベクトルの座標系に、位相角を等分割してなる6つの区間と、これら各区間内に電圧ベクトルの互いに隣接する3つの接点を結んでなる4つの領域とを設定し、PWMモード毎に電圧指令ベクトルが取り得る上記区間および領域に応じて各PWM周期における電圧ベクトルの出力順序を予め決定し、これら電圧ベクトルおよびその出力順序を記憶する手段を備え、上記記憶された電圧ベクトルおよびその出力順序に基づき、PWMモードの切替判定条件の判断を行うようにしたものである。

【0011】請求項3の発明に係る3レベルインバータ装置は、請求項2において、非同期PWMモードまたは同期PWMモードである第1のPWMモードから同期PWMモードである第2のPWMモードへ切替える場合において、切替信号が出力された時点の上記第1のPWMモードのPWM周期における電圧指令ベクトルの位相角 θ_1 を検出する手段、上記位相角 θ_1 との差が所定値以内の位相角 θ_2 を有する上記第2のPWMモードのPWM周期を選択する手段、および上記選択された第2のPW

MモードのPWM周期と上記第1のPWMモードのPWM周期とが切換判定条件を満足するか否かを判断する手段を備えたものである。

【0012】請求項4の発明に係る3レベルインバータ装置は、請求項2において、同期PWMモードから非同期PWMモードへ切替える場合において、上記同期PWMモードの各PWM周期の最初と最後の電圧ベクトルに中性点電圧ベクトル（直流電源の中性点出力端子に電流の出入を生じさせる電圧ベクトル）を配し、上記非同期PWMモードの各PWM周期の最初と最後の電圧ベクトルに零電圧ベクトル（すべての線間電圧が零となる電圧ベクトル）を配するようにしておき、切換信号が出力された時点の上記同期PWMモードのPWM周期との間で切換判定条件を満足する上記非同期PWMモードのPWM周期を選択し、この選択された上記非同期PWMモードのPWM周期へ切替えを実行する手段を備えたものである。

【0013】請求項5の発明に係る3レベルインバータ装置は、請求項1ないし4のいずれかにおいて、異なるPWMモードへ切替えるための切換信号を出力する場合の電圧指令ベクトルの周波数の切換基準値として、上記電圧指令ベクトルの周波数の増加時に設定する値より減少時に設定する値を小さくしたものである。

【0014】

【発明の実施の形態】

実施の形態1. 図1は本発明の実施の形態1における3レベルインバータ装置の構成図である。図1において、1は電圧指令ベクトル発生手段、2はマイクロコンピュータ、3はクロック信号発生手段、4および5はカウンタ、6は電圧ベクトル選択手段、7はスイッチング信号作成手段、8は3レベルインバータである。

【0015】まず、3レベルインバータの電圧ベクトルについて説明する。図2は図1に示した3レベルインバータ8の回路構成図である。図2において直流電源9の電圧をE、平滑コンデンサ10および11の電圧をそれぞれE/2とする。また、U相のスイッチング素子12～15をSW1～SW4と呼ぶことにすると、例えばU相の出力端子22から出力される相電圧 V_u は、SW1とSW2とがオン、SW3とSW4とがオフの場合は $V_u = E$ 、SW2とSW3とがオン、SW1とSW4とがオフの場合は $V_u = E/2$ 、SW3とSW4とがオン、SW1とSW2とがオフの場合は $V_u = 0$ である。なお、この関係はV相とW相とについても同様である。ここで、例えば $V_u = E$ 、 $V_v = E/2$ 、 $V_w = 0$ というスイッチング状態を $(E, E/2, 0)$ と表現し、これをEで正規化した $(1, 1/2, 0)$ を電圧ベクトルと呼ぶ。また、前述したようにU相、V相およびW相の各相が3つの電圧値をとり得るので、3レベルインバータ8

が出力可能な電圧ベクトルの数は $3 \times 3 \times 3 = 27$ 個である。

【0016】そして、3レベルインバータ8が出力可能な電圧ベクトルを極座標を用いて図示すると、図3のような正六角形が得られる。図3において、24個の正三角形の頂点が電圧ベクトルである。ここで、 $(0, 0, 0)$ 、 $(1/2, 1/2, 1/2)$ および $(1, 1, 1)$ の3つの電圧ベクトルは、すべての線間電圧が零となるため零電圧ベクトルと呼ぶことにする。

【0017】また、例えば電圧ベクトル $(1/2, 0, 0)$ と $(1, 1/2, 1/2)$ との線間電圧はいずれも $V_{uv} = E/2$ 、 $V_{vw} = 0$ 、 $V_{wu} = -E/2$ となり同じであるが、充放電される平滑コンデンサが異なる。すなわち電圧ベクトル $(1/2, 0, 0)$ を出力すると、図2において平滑コンデンサ11が充放電され、電圧ベクトル $(1, 1/2, 1/2)$ を出力すると、平滑コンデンサ10が充放電される。したがって、これらの電圧ベクトルを出力すると、平滑コンデンサ10および11の相互接続点である中性点出力端子Nに電流の出入が生じその電位が変化する。そこで、これらの電圧ベクトルを中性点電圧ベクトルと呼ぶことにする。中性点電圧ベクトルはこれら2個の電圧ベクトルを含めて12個存在する。

【0018】次に、この電圧ベクトルに基づいて3レベルインバータ8をPWM方式で駆動する電圧ベクトルPWM方式について説明する。まず、図3に示した正六角形は図4のように 60° ごとの6区間に分けられる。区間は N_d ($N_d = 1 \sim 6$)で表す。また、1つの区間は4つの正三角形の領域に分けることができる。領域は N_r ($N_r = 1 \sim 4$)で表す。図5に各区間の領域1～4を示す。また、図6に区間1のみを示す。図6に示すように電圧指令ベクトル V^* が3つの電圧ベクトル V_1 、 V_2 、 V_3 の合成ベクトルである。例えば $V^* = (1/2, 0, 0)$ または $(1, 1/2, 1/2)$ を頂点とする領域3にある場合は、以下に述べるように、PWM周期毎にこれら3つの電圧ベクトルを所定の時間配分で出力することにより3レベルインバータ8の出力電圧の制御を行うことができる。

【0019】ここで、電圧指令ベクトル V^* は振幅k、実軸からの角度 θ を用いてベクトル表示されており、角周波数 ω で回転するものと仮定する。

【0020】あるPWM周期Tにおいて電圧指令ベクトルが描く円弧軌跡と、前述の3つの電圧ベクトルを用いて出力された合成ベクトルが描く軌跡が等しくなる条件は式(1)で表される。

【0021】

【数1】

$$\left. \begin{aligned} V_1 \cdot t_1 + V_4 \cdot t_4 + V_3 \cdot t_3 &= V^* \cdot T \\ \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot t_1 + \frac{1}{\sqrt{3}} e^{j\frac{\pi}{3}} \cdot t_4 + e^{j\frac{\pi}{6}} \cdot t_3 &= k e^{j\theta} \cdot T \end{aligned} \right\} \dots (1)$$

【0022】式(1)において t_1 、 t_4 および t_3 * (2) が得られる。

は、それぞれ電圧ベクトル V_1 、 V_4 および V_3 の持続 【0023】

時間である。また、これら3つの電圧ベクトルの持続時 10 【数2】

間の総和がPWM周期 T に等しいという条件から式 *

$$t_1 + t_4 + t_3 = T \dots (2)$$

【0024】式(1)および式(2)より、これら3つ ※【0025】

の電圧ベクトルの持続時間を求めると式(3)が得られ 【数3】

る。 ※

$$\left. \begin{aligned} t_1 &= T (1 - 2k \sin \theta) \\ t_4 &= T [1 - 2k \sin (\frac{\pi}{3} - \theta)] \\ t_3 &= T [2k \sin (\theta + \frac{\pi}{3}) - 1] \end{aligned} \right\} \dots (3)$$

【0026】同様にして、電圧指令ベクトルが他の区間にある場合にも、そのとき電圧指令ベクトルが位置する領域の各頂点をなす3つの電圧ベクトルを選択し、その持続時間を求めることが可能である。

【0027】図1の動作を順を追って説明する。なお、ここでは、非同期PWMモードと15パルス同期PWMモード間のPWMモード切換を例に挙げて説明を行うこととする。図7に動作のフローチャートを示す。

【0028】まず、電圧指令ベクトル発生手段1はA/Dコンバータ1a、ROM(リードオンリーメモリー)1b、V/Fコンバータ1c、カウンタ1dで構成される。アナログ値である出力周波数指令 f^* を、A/Dコンバータ1aに入力して得たデジタル値を、v/fパターンが記憶されたROM1bに入力すると、電圧指令ベクトルの振幅 k のデジタル値がROM1bから出力される。一方、アナログ値である出力周波数指令 f^* をV/Fコンバータ1cに入力し、周波数が出力周波数指令 f^* の振幅に比例するパルス列に変換した後、カウンタ1dに入力すると出力周波数指令の時間積分が行われ、電圧指令ベクトルの位相 θ のデジタル値が出力される。なお、このような電圧指令ベクトルの発生方法は、誘導電動機をv/f一定制御する場合によく使用されている。

【0029】マイクロコンピュータ2では、ステップST1として、電圧指令ベクトル発生手段1から電圧指令ベクトルを入力し、当該電圧指令ベクトルが図4に示した6つの区間のうちいずれの区間に含まれるのかについて判定する。また、電圧指令ベクトルの位相 θ を区間 N $d (=1 \sim 6)$ 50 内における位相 θ_1 、すなわち $\theta = 60$

$^\circ \times (Nd - 1) + \theta_1$ という形に変形する。そして、以下の処理では、位相は各区間内における位相 θ_1 を扱うことにする。また、ここでは、図5に示したように各区間ごとに定義される4つの領域において、当該電圧指令ベクトルがいずれの領域に含まれるのかについても判定する。

【0030】ステップST2では、PWMモードの決定を行う。ステップST2の詳細なフローチャートを図8に示す。なお、PWMモードは N_p で表す。非同期PWMモードと15パルス同期PWMモード間のPWMモード切換を行うPWMモード切換周波数 f_1 は予め設定しておき、この f_1 と出力周波数指令 f^* とを比較して、 $f^* < f_1$ であれば非同期PWMモード($N_p = 1$)、 $f^* \geq f_1$ であれば15パルス同期PWMモード($N_p = 2$)とする。この N_p の変更が切換信号である第1のPWMモード切換許可信号の出力に相当する。なお、出力周波数指令 f^* は図1に示すような方法で得ることも、また電圧指令ベクトルの位相 θ の微分から得ることもできる。

【0031】ここで、電圧ベクトルPWM方式の非同期PWMモードと同期PWMモードについて説明する。

【0032】まず、非同期PWMモードについて説明する。非同期PWMモードにおいては、三角波比較PWM方式の場合と同様に、PWM周期 T は出力周波数指令に関係なく常に一定である。したがって、非同期PWMモードでは、1つの区間に含まれる周期の数は出力周波数指令によって変化する。例えば、出力周波数指令が高くなると1つの区間に含まれる周期の数は減少する。

【0033】図9、10は非同期PWMモードにおける

電圧ベクトルの出力順序の一例を示すもので、図9

(1)～(3)が区間 $N_d=1\sim3$ 、図10(1)～(3)が区間 $N_d=4\sim6$ に対応しており、また、いずれの区間においても、電圧指令ベクトルが領域 $N_r=1$ に存在するものとしている。したがって、各PWM周期には、必ず零電圧ベクトル V_0 が存在することになるが、これを各PWM周期の最初と最後に配している。そして、この零電圧ベクトル V_0 として、電圧ベクトル(0, 0, 0)、(1/2, 1/2, 1/2)、(1, 1, 1)のいずれかを図9、10に示すように選定することにより、4つのPWM周期を1サイクルとして同一の出力電圧波形を繰り返す形態となる。

【0034】図11は、図9、10の電圧波形を出力するときの各相のスイッチング素子SW1～SW4の動作状態(オン、オフ)を示すもので、図から判るように、この4周期1サイクルですべてのスイッチング素子SWがそれぞれオン、オフ動作を1回行うことになる。この結果、各スイッチング素子SWの動作負担が均等化され、インバータとして特性が安定し、寿命的にも有利となる。また、この非同期PWMモードでは、前述した通り、1つの区間に含まれる周期の数は定まっていないが、たとえ、1サイクルの途中の周期で隣接する区間に入っても、各周期の最初と最後を零電圧ベクトルとしているので、移行がスムーズになされる。

【0035】次に、同期PWMモードについて、15パルス同期PWMモードを例に挙げて説明する。15パルス同期PWMモードとは、3レベルインバータ8を構成するスイッチング素子のスイッチング周波数が、出力周波数指令の15倍となる同期PWMモードのことである。同期PWMモードでは、1つの区間に含まれる周期の数が決まっている。15パルス同期PWMモードでは、1つの区間に5つの周期が含まれる。また、同期PWMモードのPWM周期 T_1 の逆数は出力周波数指令の整数倍となるように変化する。15パルス同期PWMモードでは、PWM周期 T_1 の逆数は出力周波数指令の30倍になる。

【0036】図12、13は15パルス同期PWMモードにおける電圧ベクトルの出力順序の一例を示すもので、各周期の領域が電圧指令ベクトルの振幅 k によって変化することから、ここでは図12(1)に示すように、想定される振幅 $k_1\sim k_5$ の5つのケースにつき、それぞれ図12(2)、(3)および図13(1)～(3)に図示している。これらの図から判るように、各周期の最初と最後の電圧ベクトルに中性点電圧ベクトルを配している。これによって、電圧指令ベクトルの振幅 k の如何にかかわらず、換言すれば電圧指令ベクトルがどの領域を通過する場合であっても、第 i 番目($i=1\sim5$)の周期同士ではその最初と最後の電圧ベクトルは互いに同一となる。

【0037】図14、15は各区間毎の15パルス同期

PWMモードにおける電圧ベクトルの出力順序を示すものである。これらは、いずれも電圧指令ベクトルが領域1のみを通過する場合($k=k_1$ に相当)について示しているが、図12、13で説明した通り、電圧指令ベクトルが領域1以外の領域を通過する場合($k=k_2\sim k_5$ に相当)にも、各区間毎における第 i 番目($i=1\sim5$)の周期同士ではその最初と最後の電圧ベクトルは互いに同一となる。なお、図14、15において、 N_c は1つの区間内におけるPWM周期の順位(周期番号)を示す。

【0038】また、以上の図から判るように、あるPWM周期の最後の電圧ベクトルとその次のPWM周期の最初の電圧ベクトルとが同一となるようにしているが、これはインバータに適用するスイッチング素子の最小オン時間および最小オフ時間の制限に引っかからないようにするためである。即ち、GTO(ゲートターンオフサイリスタ)のように比較的スイッチング速度の遅い素子では、最小オン時間と最小オフ時間が数10 $\mu s\sim100\mu s$ 程度あり、これらの時間を考慮しないでスイッチングを行うと素子が破壊にいたる場合がある。スイッチング素子にGTOを適用したインバータ装置では、PWM回路の後段に最小オン時間および最小オフ時間を確保する回路を設けており、これらの時間より細いパルスを出ししないようにしている。したがって、出力パルス指令が最小オン時間や最小オフ時間より細いパルスであると、指令通りのパルスは出力されずインバータの出力波形が歪んでしまう。本特許におけるPWM方式では、あるPWM周期の最後に出力する電圧ベクトルと、その次のPWM周期の最初に出力する電圧ベクトルとを同じにしておき、可能な限り細いパルスを出ししないようにしている訳である。

【0039】ところで、PWM周期は、例えばクロック信号発生手段3から出力するクロック信号を利用して作成することができる。まず、予め設定されたカウンタ数をカウンタするとリセットし、またカウンタを繰り返すようなカウンタを用意する。図1ではカウンタ4に相当する。そして、このカウンタ4でクロック信号をカウントする。このとき、カウンタ4のリセット信号の周期がPWM周期になるようにカウンタ数を設定すれば、このリセット信号をPWM周期に利用することができる。例えばクロック信号の周波数が10MHzであり、所望のPWM周期が500 μs の場合には、カウンタ4のカウンタリセット値を5000に設定する。すると、カウンタ4から出力されるリセット信号の周期は、PWM周期と一致する。非同期PWMモードの場合には、出力周波数指令によらずPWM周期が一定であるから、カウンタ4のカウンタリセット値も一定でよい。同期PWMモードの場合には、出力周波数指令の逆数がPWM周期の整数倍になるようにPWM周期が変化するので、カウンタ4のカウンタリセット値も出力周波数指令に応じて変化

させる必要がある。なお、カウンタ4のカウンタリセット値はマイクロコンピュータから与えられる。

【0040】また、カウンタ4のリセット信号をカウンタすれば、各PWMモードにおける周期番号を決定することもできる。すなわち、非同期PWMモードの場合には、カウント数が4でリセットし、またカウントを繰り返すようなカウンタを用意する。図1ではカウンタ5に相当する。このときのカウント数を N_c とすれば、 N_c は $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 1$ というように変化する。そして、この N_c と非同期PWMモードにおける周期番号を対応させておけば、 N_c から各PWMモードにおける周期番号を決定することができる。また、15パルス同期PWMモードの場合には、カウント数が5でリセットし、またカウントを繰り返すようなカウンタを用意すれば、 N_c と周期番号を対応させることができる。

【0041】なお、カウンタ5としては、カウンタリセット値を任意に変更でき、またカウント値をプリセットできるものを使用すれば、後述する複数のPWMモード間のPWMモード切換に対応することができる。

【0042】この3レベルインバータ装置では、出力する電圧ベクトルの出力順序は電圧ベクトル選択手段6に予め用意されている。電圧ベクトル選択手段6にはROMを用いている。そして、電圧ベクトルは区間 N_d 、領域 N_r 、PWMモード N_p 、周期番号 N_c の4つの値をアドレスとして、読み出しが可能な形態で格納されてい*

$$\frac{(m-1)\pi}{3(2n-1)} \leq \theta_1 < \frac{m\pi}{3(2n-1)} \quad \text{のとき}$$

$$\theta_1 = \frac{(2m-1)\pi}{6(2n-1)} \quad \dots (4)$$

ただし、 $n = 2, 3, \dots$

$m = 1, 2, 3, \dots, 2n-1$

【0045】ステップST4(図7)では、PWMモード切換の可否を判定する。このステップST4において、PWMモード切換が許可されると第2のPWMモード切換許可信号が出力される。ここでは、PWMモード切換判定方法について、ステップST2において非同期PWMモードから15パルス同期PWMモードへの第1のPWMモード切換許可信号が出力され、このとき電圧指令ベクトルが区間1、領域1の $\theta_1 = 5^\circ$ にあり、ステップST3において $\theta_2 = 6^\circ$ と決定した場合を例に挙げて説明する。

【0046】電圧ベクトルPWM方式では、電圧指令ベクトルが与えられてからスイッチング信号が作成されるまでの一連の動作はPWM周期に同期しているため、PWMモード切換判定もPWM周期に同期して行われる。つまり、PWMモード切換を行うタイミングは、PWM周期と一致する。

【0047】前述したように同期PWMモードでは、パルス数と区間に対応して各周期の最初と最後に出力する

＊る。

【0043】次にステップST3(図7)では、 θ_1 をもとに15パルス同期PWMモードにおける位相 θ_2 を決定する。即ち、ステップST2(図8)で $N_p = 1 \rightarrow 2$ となって第1のPWMモード切換許可信号が出力されると、その時点(非同期PWMモード)の電圧指令ベクトルの位相 θ_1 に近い15パルス同期PWMモードにおける位相 θ_2 を求め、その周期番号 N_c を決定する。その詳細なフローチャートを図16に示す。前述したように15パルス同期PWMモードでは、1つの区間に5つのPWM周期が含まれる。つまり、1つの区間には5つの θ_2 がある。この θ_2 は、例えば式(4)から求められる。式(4)において n は同期PWMモードのパルス数を表すための変数であり、15パルス同期PWMモードの場合は $n = 3$ となる。また、 m は1つの区間に含まれる周期の数を表す変数であり、15パルス同期PWMモードの場合は $m = 5$ である。すなわち、周期番号 $N_c = m$ である。そして、式(4)を用いると、15パルス同期PWMモードにおける θ_2 は 6° ($N_c = 1$)、 18° ($N_c = 2$)、 30° ($N_c = 3$)、 42° ($N_c = 4$)、 54° ($N_c = 5$)というように求めることができる。そして、例えば $\theta_1 = 5^\circ$ の場合には $\theta_2 = 6^\circ$ と決定される。

【0044】

【数4】

電圧ベクトルは予め決められている。この例では15パルス、区間1、 $\theta_2 = 6^\circ$ ($N_c = 1$)であるので、図14(1)からPWMモード切換を行った場合、最初に出力する電圧ベクトルは $(1, 1/2, 1/2)$ であることが判る。また、第1のPWMモード切換許可信号が出力される直前のPWMモード、つまり非同期PWMモードにおいて最後に出力した電圧ベクトルは、零電圧ベクトル $(0, 0, 0)$ 、 $(1/2, 1/2, 1/2)$ 、 $(1, 1, 1)$ のいずれかである(図9、10参照)。

【0048】非同期PWMモードから同期PWMモードへの滑らかなPWMモード切換を行うためには、PWMモード切換時における出力電圧の変動を最小限に抑制する必要がある。そして、出力電圧の変動を最小限に抑制するために、PWMモード切換直前の電圧ベクトルとPWMモード切換直後の電圧ベクトルとが同じである場合、またはPWMモード切換直前の電圧ベクトルからPWMモード切換直後の電圧ベクトルへの移行が、一対のスイッチング動作によって可能である場合に第2のPW

Mモード切換許可信号を出力するというPWMモード切換判定条件を設定する。ここで一対のスイッチング動作とは、あるスイッチング素子のオン（オフ）動作と、それと対を為すスイッチング素子のオフ（オン）動作のことである。対を為して動作するスイッチング素子はSW1とSW3、またはSW2とSW4である。したがって、スイッチング状態0から1/2への移行はSW4のオフ動作とSW2のオン動作、スイッチング状態1から1/2への移行はSW1のオフ動作とSW3のオン動作というようにそれぞれ一対のスイッチング動作によって可能である。しかし、スイッチング状態0から1への移行はSW4のオフ動作とSW2のオン動作、およびSW3のオフ動作とSW1のオン動作というように二対のスイッチング動作が必要であり、スイッチング状態は0→1/2→1というように移行する（図11参照）。

【0049】ここで扱っている例では、前述した通りPWMモード切換直後の電圧ベクトルは（1，1/2，1/2）である。また、PWMモード切換直前の電圧ベクトルは3つの零電圧ベクトルのいずれかである。これら3つの零電圧ベクトルのうち、例えば（1，1，1）から（1，1/2，1/2）への移行は、（1，1，1）→（1，1，1/2）→（1，1/2，1/2）というように二対のスイッチング動作が必要である。この考えを他の零電圧ベクトルについても試行すると、PWMモード切換判定条件を満たすことができる零電圧ベクトルは、（1/2，1/2，1/2）のみであることが分かる。また、これを3レベルインバータ8のスイッチング状態で考えると、（1/2，1/2，1/2）に対応するスイッチング状態から（1，1/2，1/2）に対応するスイッチング状態へは、U相のみスイッチング状態を1/2から1へ変更することによって移行することができる。つまり、前述したようなPWMモード切換判定条件を設定することにより、PWMモード切換の際、スイッチング素子のスイッチング回数を最小限に抑制することができ、結果としてスイッチング素子におけるスイッチング損失の増加を抑制することができる。

【0050】前述したPWMモード切換判定条件と等価な条件の1つとして、PWMモード切換直前の電圧ベクトルとPWMモード切換直後の電圧ベクトルの要素の差の絶対値の総和が0、または1/2であるという条件が挙げられる。この条件を具体例を用いて説明する。例えばPWMモード切換直前の電圧ベクトルが（1，1，1）であり、PWMモード切換直後の電圧ベクトルが（1，1/2，1/2）である場合、電圧ベクトルの要素の差はU相が0、V相が1/2、W相が1/2となる。そして、これらの絶対値の総和は0+1/2+1/2=1となる。したがって、この場合にはPWMモード切換判定条件を満たすことができない。これに対してPWMモード切換直前の電圧ベクトルが（1/2，1/2，1/2）で、PWMモード切換直後の電圧ベクトル

が（1，1/2，1/2）の場合、電圧ベクトルの要素の差はU相が-1/2、V相が0、W相が0となり、これらの絶対値の総和は1/2+0+0=1/2となる。したがって、この場合にはPWMモード切換判定条件を満たすことができ、第2のPWMモード切換許可信号が出力される。このように、PWMモード切換直前の電圧ベクトルとPWMモード切換直後の電圧ベクトルの要素の差の絶対値の総和が0、または1/2である場合に第2のPWMモード切換許可信号を出力するというPWMモード切換判定条件を設定し、PWMモード切換の可否を判定することも可能である。

【0051】さて、図12、13で説明したように、電圧指令ベクトルが区間1を通過する場合、15パルス同期PWMモードの5つの各周期において、最初に出力する電圧ベクトルは、その通過する領域にかかわらず、それぞれ周期1が（1，1/2，1/2）、周期2が（1/2，0，0）、周期3が（1，1/2，1/2）、周期4が（1/2，1/2，0）、周期5が（1，1，1/2）という中性点電圧ベクトルである。したがって、前述のPWMモード切換判定条件に従えば、直前の非同期PWMモードにおいて最後に出力した零電圧ベクトルが（0，0，0）の場合には周期2への移行、（1/2，1/2，1/2）の場合には周期1、3および4への移行、（1，1，1）の場合には周期5への移行が許可される。そして、これらのタイミングに非同期PWMモードから15パルス同期PWMモードへの第1のPWMモード切換許可信号が出力された場合には、第2のPWMモード切換許可信号も出力され、PWMモード切換を実行することができる。

【0052】前述したようなPWMモード切換判定を、この3レベルインバータ装置ではソフトウェアによって実現している。その詳細なフローチャートを図17に示す。ここでNc'は、第1のPWMモード切換許可信号が出される直前のPWM周期の周期番号を示す。したがって、この例では非同期PWMモードにおいて最後に出力した零電圧ベクトルが（0，0，0）の場合にはNc'=4、（1/2，1/2，1/2）の場合にはNc'=1または3、（1，1，1）の場合にはNc'=2となる（図9、10参照）。図17において、例えば、Nc'=2（最後の電圧ベクトルが（1，1，1））としてステップST4-A-5でYESとなった場合、2つのステップST4-A-6とST4-A-7とで切換可否の判断をしている。これは、図14、15に示すように、区間Nd=1，3，5における周期Nc=5と、区間Nd=2，4，6における周期Nc=2とが共に、各相の電圧が（1）と（1）と（1/2）とを組合わせてなる電圧ベクトルを最初に配していることから容易に理解できるところである。ステップST4-A-14とST4-A-15についても全く同様である。このように、図17に示すフローチャートにより、

すべての区間における非同期PWMモードから15パルス同期PWMモードへのPWMモードの切換の可否を判定することができる。

【0053】非同期PWMモードから15パルス同期PWMモードへのPWMモード切換が許可された場合、すなわち第1および第2のPWMモード切換許可信号が出力された場合には、カウンタ4およびカウンタ5のカウントリセット値の設定を変更する。また、周期番号はNcを初期値、すなわちカウンタ5のプリセット値はNcとしてカウントを開始する。

【0054】PWMモード切換が禁止された場合、すなわち第2のPWMモード切換許可信号が出力されなかった場合には、引き続き非同期PWMモードとなる。このとき、 $Np = 1$ 、 $Nc = Nc' + 1$ となる。

【0055】次に、同期PWMモードから非同期PWMモードへのPWMモード切換について説明する。ここでは、電圧指令ベクトルが区間1を通過する場合の15パルス同期PWMモードから非同期PWMモードへのPWMモード切換を例に挙げる。

【0056】同期PWMモードから非同期PWMモードへの滑らかなPWMモード切換を行うためにも、PWMモード切換時における出力電圧の変動を最小限に抑制する必要がある。したがって、このPWMモード切換においても、PWMモード切換直前の電圧ベクトルとPWMモード切換直後の電圧ベクトルとが同じである場合、またはPWMモード切換直前の電圧ベクトルからPWMモード切換直後の電圧ベクトルへの移行が一对一のスイッチング動作によって可能である場合に第2のPWMモード切換許可信号を出力するというPWMモード切換判定条件を設定する。

【0057】図14(1)に示したように、電圧指令ベクトルが区間1を通過する場合、15パルス同期PWMモードの5つの各周期において、最後に出力する電圧ベクトルは周期1が $(1/2, 0, 0)$ 、周期2が $(1, 1/2, 1/2)$ 、周期3が $(1/2, 1/2, 0)$ 、周期4が $(1, 1, 1/2)$ 、周期5が $(1/2, 1/2, 0)$ という中性点電圧ベクトルである。前述のPWMモード切換判定条件に従えば、直前の15パルス同期PWMモードが周期1の場合には $(0, 0, 0)$ 、周期2、3および5の場合には $(1/2, 1/2, 1/2)$ 、周期4の場合には $(1, 1, 1)$ を最初に出力する非同期PWMモードへの移行が許可されることになる。15パルス同期PWMモードから非同期PWMモードへの第1のPWMモード切換許可信号が出力されると、前述した零電圧ベクトルを最初に出力する非同期PWMモードへのPWMモード切換を行うことができる。

【0058】15パルス同期PWMモードから非同期PWMモードへのPWMモード切換可否の判定も、非同期PWMモードから15パルス同期PWMモードへのPWMモード切換の場合と同様に、ソフトウェアによって実

現している。その詳細なフローチャートを図18に示す。なお、図18に示すフローチャートは、図9、10および図14、15に基づき、すべての区間における15パルス同期PWMモードから非同期PWMモードへのPWMモード切換の可否を判定することができるものとなっている。また、同図からも判るように、15パルス同期PWMモードから非同期PWMモードへのPWMモード切換においては、PWMモード切換が禁止される場合はなく、必ず行うことができる。

10 【0059】以上で説明した双方向のPWMモードの切換方法は、非同期PWMモードと15パルス以外のパルス数の同期PWMモードとの間のPWMモード切換の場合においても同様な考え方によって適用できる。

【0060】次にステップST5(図7)では、出力する各電圧ベクトルの持続時間を演算する。なお、演算は式(1)と式(2)とに基づいて行なっている。ところで、PWM周期とカウンタ4のカウント数とは対応しているので、持続時間もカウント数として扱うことができる。したがって、出力する各電圧ベクトルの持続時間は、カウンタ4のカウントリセット値を用いて持続時間信号に変換することができる。

【0061】ステップST6では、区間信号Nd、領域信号Nr、PWMモード信号Np、周期番号Nc、および出力する各電圧ベクトルの持続時間信号を出力する。

【0062】電圧ベクトル選択手段6では、区間信号Nd、領域信号Nr、PWMモード信号Np、および周期番号Ncに基づいて、非同期PWMモードまたは15パルス同期PWMモードにおいて出力する電圧ベクトルをROMから読み出し、各電圧ベクトルの持続時間信号を用いてPWM信号を作成し、このPWM信号を出力する。スイッチング信号作成手段7では、電圧ベクトル選択手段6から出力されるPWM信号に基づいて、3レベルインバータ8を構成するスイッチング素子を駆動するスイッチング信号を作成し、このスイッチング信号によって3レベルインバータ8を駆動している。

【0063】実施の形態2. 上記本発明の実施の形態1においては、非同期PWMモードと同期PWMモードとの間のPWMモード切換方法について説明したが、あるパルス数の同期PWMモードとそれと異なるパルス数の同期PWMモードとの間のPWMモード切換も同様な方法によって行なうことができる。ここでは、区間1における、15パルス同期PWMモードと9パルス同期PWMモードとの間のPWMモード切換を例に挙げて説明する。

【0064】まず、図19、20に9パルス同期PWMモードにおける電圧ベクトルの出力順序を示す。図19、20は電圧指令ベクトルが図6に示した区間1の領域2、3および4を通過する場合であるが、図12、13により15パルス同期PWMモードで説明した場合と同様、各周期の最初と最後の電圧ベクトルについては、

領域の如何にかかわらず、同一となる。9パルス同期PWMモードでは、1つの区間には3つの周期が含まれる。また、 θ_2 は式(4)を用いれば 10° 、 30° および 50° のように求められる。なお、15パルス同期PWMモードにおける電圧ベクトルの出力順序は既に図14、15に示した。

【0065】あるパルス数の同期PWMモードとそれと異なるパルス数の同期PWMモードとの間のPWMモード切替時にも、PWMモード切替時における出力電圧の変動を最小限に抑制する必要がある。したがって、PWMモード切替時における出力電圧の変動を最小限に抑制するために、PWMモード切替直前の電圧ベクトルとPWMモード切替直後の電圧ベクトルとが同じである場合、またはPWMモード切替直前の電圧ベクトルからPWMモード切替直後の電圧ベクトルへの移行が一对のスイッチング動作によって可能である場合に第2のPWMモード切替許可信号を出力するというPWMモード切替判定条件を設定する。

【0066】また、あるパルス数の同期PWMモードとそれと異なるパルス数の同期PWMモードとの間のPWMモード切替時には、出力電圧の連続性を保つために、 θ_2 の連続性、即ち、 θ_1 と θ_2 との差を所定値内に抑えることについても考慮する必要がある。したがって、PWMモード切替判定条件としては、前述の条件に加えて、この θ_2 の連続性についても考慮したものを設定する。

【0067】このPWMモード切替判定条件に従うと、例に挙げた15パルス同期PWMモードから9パルス同期PWMモードへのPWMモード切替では、15パルス同期PWMモードの周期1($N_{c'}=1$)から9パルス同期PWMモードの周期1($N_c=1$)、15パルス同期PWMモードの周期2($N_{c'}=2$)から9パルス同期PWMモードの周期2($N_c=2$)、および15パルス同期PWMモードの周期3($N_{c'}=3$)から9パルス同期PWMモードの周期3($N_c=3$)への移行が許可される。また、9パルス同期PWMモードから15パルス同期PWMモードへのPWMモード切替は、9パルス同期PWMモードの周期1($N_{c'}=1$)から15パルス同期PWMモードの周期3($N_c=3$)への移行が許可される。そして、これらのタイミングに15パルス同期PWMモードから9パルス同期PWMモード、または9パルス同期PWMモードから15パルス同期PWMモードへの第1のPWMモード切替許可信号が出力されると、第2のPWMモード切替許可信号も出力され、それぞれPWMモード切替を実行することができる。

【0068】15パルス同期PWMモードと9パルス同期PWMモードとの間のPWMモード切替を行うことができる3レベルインバータ装置を、図1と同様な構成により実現するためには以下の設定を行えばよい。まず、15パルス同期PWMモードと9パルス同期PWMモー

ドとの間のPWMモード切替周波数 f_2 を設定する。この f_2 と出力周波数指令 f^* とを比較して、 $f^* < f_2$ であれば15パルス同期PWMモード($N_p=2$)、 $f^* \geq f_2$ であれば9パルス同期PWMモード($N_p=3$)とする。前述したように、9パルス同期PWMモードにおける θ_2 は 10° ($N_c=1$)、 30° ($N_c=2$)、 50° ($N_c=3$)である。

【0069】15パルス同期PWMモードから9パルス同期PWMモードへのPWMモード切替可否の判定は図21のフローチャートに、また9パルス同期PWMモードから15パルス同期PWMモードへのPWMモード切替可否の判定は図22のフローチャートに従って行うことができる。なお、図14、15および図19、20を見れば判る通り、図21、22のフローチャートにより、すべての区間における、15パルス同期PWMモードと9パルス同期PWMモードとの間のPWMモード切替の可否を判定することができる。

【0070】そして、電圧ベクトル選択手段6には、15パルスおよび9パルス同期PWMモードにおける電圧ベクトルの出力順序を予め記憶させておけばよい。

【0071】実施の形態3. 上記本発明の実施の形態1においては、非同期PWMモードと同期PWMモードとの間のPWMモード切替方法について、また、実施の形態2においては、あるパルス数の同期PWMモードとそれと異なるパルス数の同期PWMモードとの間のPWMモード切替方法についてそれぞれ説明した。これらを組み合わせることにより、例えば出力周波数指令に対して非同期PWMモードと15パルス同期PWMモードとの間および15パルス同期PWMモードと9パルス同期PWMモードとの間のPWMモード切替を順次行うような3レベルインバータ装置を、図1と同様な構成で実現することもできる。すなわち、図1の構成要素において、実施の形態1で説明した設定に、実施の形態2で説明した設定を追加すればよい。

【0072】15パルスおよび9パルス以外のパルス数の同期PWMモードが追加された場合にも、同様な設定を行えば、出力周波数指令に対して順次PWMモード切替を行うような3レベルインバータ装置を、図1と同様な構成で実現することもできる。

【0073】実施の形態4. 本発明の実施の形態1~3の説明における同期PWMモードは、式(4)によって θ_2 を求めることができるパルス数の同期PWMモードである。複数の同期PWMモード間のPWMモード切替では、出力周波数指令 f^* の増加に伴ってパルス数を減少させる。つまり、出力周波数指令 f^* が大きい領域においては、式(4)によつては θ_2 を求めることができないパルス数の同期PWMモード、例えば3パルス以下の同期PWMモードへのPWMモード切替を行うことになる。このような同期PWMモードについても、前述したような同期PWMモードと同様に扱うことができ、P

WMモード切換についても、前述したようなPWMモード切換判定条件に従って行うことができる。

【0074】ここでは、3パルスおよび1パルス同期PWMモードについて説明する。3レベルインバータにおける3パルスおよび1パルス同期PWMモードは、詳細は省略するが、2レベルインバータにおける3パルスおよび1パルス同期PWMモードを基準にして説明することができる。即ち、2レベルインバータで許可されていた、例えば、 $(1, 0, 0) \rightarrow (1, 1, 0)$ への移行が3レベルインバータでは許可されず、3レベルインバータにおいては、これを $(1, 0, 0) \rightarrow (1, 1/2, 0) \rightarrow (1, 1, 0)$ という形での移行に変える。このようにして設定された、3レベルインバータにおける3パルス同期PWMモードの電圧ベクトルの出力順序を図23に示す。1つの区間に含まれる周期の数は2、すなわち $N_c = 2$ である。 θ_2 については、 $0^\circ \leq \theta_1 < 30^\circ$ と $30^\circ \leq \theta_1 < 60^\circ$ の範囲で1個ずつ、例えば 15° ($N_c = 1$)、 45° ($N_c = 2$)を選択すればよい。また、図24に、1パルス同期PWMモードの、電圧ベクトルの出力順序を示す。図23と図24とを比較すると、1パルス同期PWMモードは、3パルス同期PWMモードにおいて中性点電圧ベクトルを省略したものであることが分かる。1パルス同期PWMモードの場合も $N_c = 2$ である。

【0075】実施の形態5. 本発明の実施の形態1～3において、PWMモード切換周波数は、加速時（出力周波数指令増加時）のPWMモード切換周波数より、減速時（出力周波数指令減少時）のPWMモード切換周波数の方を低く設定する、つまりヒステリシス幅を設定することも可能である。このようなPWMモード切換周波数を設定した例を図25に示す。図25において、 f_1 は非同期PWMモードから15パルス同期PWMモード、 f_1' は15パルス同期PWMモードから非同期PWMモード、 f_2 は15パルス同期PWMモードから9パルス同期PWMモード、そして f_2' は9パルス同期PWMモードから15パルス同期PWMモードへのPWMモード切換周波数である。例えば、加速時において、非同期PWMモードから15パルス同期PWMモードへの第1のPWMモード切換許可信号、すなわち $N_p = 2$ は出力周波数指令が f_1 になったときに出力される。減速時には、15パルス同期PWMモードから非同期PWMモードへの第1のPWMモード切換許可信号、すなわち $N_p = 1$ は出力周波数指令が f_1 のときには出力されず、 f_1' になったときに出力される。なお、ヒステリシス幅 $(f_1 - f_1')$ および $(f_2 - f_2')$ は任意に設定できる。このフローチャートを図26に示す。なお、フローチャート中では、 Hys という変数を用いてヒステリシスを表現している。

【0076】PWMモード切換周波数にヒステリシス幅がない場合には、例えば出力周波数指令が非同期PWM

モードと15パルス同期PWMモードのPWMモード切換周波数付近になると、PWMモードが不必要に変化する、いわゆるチャタリングという現象が起こる可能性がある。前述したようなヒステリシス幅を設定しておくと、出力周波数指令がPWMモード切換周波数付近である場合にも、PWMモードが不必要に変化しないのでチャタリングは起こらず、PWMモードの円滑な切換が可能となる。

【0077】実施の形態6. 本発明の実施の形態1～3において、同期PWMモードにおける位相 θ_2 は式

(4)を用いて決定している。この θ_2 の決定方法では、例えば非同期PWMモードから15パルス同期PWMモードへのPWMモード切換時に、電圧指令ベクトルの位相 $\theta_1 = 1^\circ$ の場合には $\theta_2 = 6^\circ$ となり、 θ_1 に対する位相差が大きくなる。本発明の3レベルインバータ装置においては、PWMモード切換時の位相差を小さくすることも可能で、以下にその方法について説明する。

【0078】非同期PWMモードから15パルス同期PWMモードへのPWMモード切換時の電圧指令ベクトルの位相が $\theta_1 = 1^\circ$ であれば、PWMモード切換直後の15パルス同期PWMモードにおける位相は $\theta_2 = 1^\circ$ とする。つまり、この θ_2 の決定方法では、PWMモード切換時の電圧指令ベクトルの位相と同期PWMモードにおける位相との差をなくすことができる。また、15パルス同期PWMモードの場合には、1周期の位相増加分 $\Delta\theta = 12^\circ$ であるから、以降の各周期ではPWM周期ごとに $\Delta\theta$ を加え、 $\theta_2 = 13^\circ$ 、 25° 、 37° 、 49° となる。

【0079】ここで、式(4)に従って、切換後の位相 θ_2 を決める場合と、この実施の形態6で説明したように $\theta_2 = \theta_1$ とする場合との他の要素に与える影響につき説明する。図27は、電圧指令ベクトルの振幅 k が $k = k'$ の9パルス同期PWMモードである。同図(1)は式(4)に従って位相を決めた場合、同図(2)は式(4)に従わず $\theta_2 = \theta_1$ とする場合である。式(4)に従って位相を決めれば、電圧指令ベクトルは周期1では $N_r = 2$ 、周期2では $N_r = 3$ 、周期3では $N_r = 4$ に必ず含まれるので、PWMパターン（電圧ベクトルの出力順序）は1通りでよいことが分かる。したがって、この場合には各区間の各PWM周期において最初に出力する電圧ベクトルは予め決まっている。

【0080】これに対して式(4)に従わない図27

(2)の場合には、電圧指令ベクトルは周期1では $N_r = 2$ 、周期2では $N_r = 2$ 、周期3では $N_r = 4$ に含まれるので、これに対応したPWMパターンが別途必要である。また、位相が例えば 15° 、 35° 、 55° である場合には、電圧指令ベクトルは周期1では $N_r = 2$ 、周期2では $N_r = 4$ 、周期3では $N_r = 4$ に含まれるので、これに対応したPWMパターンが必要である。つま

り、式(4)に従って同期PWMモードにおける位相を決定しないと、複数のPWMパターンが必要になる。そして、これらの場合には、各区間の各PWM周期において最初に出力する電圧ベクトルが異なってしまう。このように複数のPWMパターンを持っておく必要がある方法は、ROMの必要記憶量を増大させ、PWMモード切替判定条件の複雑化を招いてしまう。式(4)に従って同期PWMモードにおける位相を決定することは、これらの問題点を回避できるというメリットがある。なお、上記各実施の形態では、いわゆるV/f一定制御方式を適用した場合について説明したが、この発明は適用上、必ずしもこの制御方式に限られるものではない。

【0081】

【発明の効果】以上のように、請求項1の発明に係る3レベルインバータ装置は、電圧指令ベクトルの周波数が所定の切替基準値に達したとき切替信号を出力する手段、および上記切替信号が出力された時点のPWM周期における最後の電圧ベクトルと、切替えた場合の切替え直後のPWM周期における最初の電圧ベクトルとが同一のスイッチング状態にあるかまたは一対のスイッチング動作で移行可能なスイッチング状態にあるという切替判定条件のもとでPWMモードの切替えを実行する手段を備えたので、電圧ベクトルPWM方式においても、異なるPWMモード間の切替が円滑になされる。

【0082】また、請求項2の発明に係る3レベルインバータ装置は、電圧ベクトルの座標系に、位相角を等分割してなる6つの区間と、これら各区間内に電圧ベクトルの互いに隣接する3つの接点を結んでなる4つの領域とを設定し、PWMモード毎に電圧指令ベクトルが取得する上記区間および領域に応じて各PWM周期における電圧ベクトルの出力順序を予め決定し、これら電圧ベクトルおよびその出力順序を記憶する手段を備え、上記記憶された電圧ベクトルおよびその出力順序に基づき、PWMモードの切替判定条件の判断を行うようにしたので、記憶内容に従ってPWM周期や区間、領域の判別を行えば足り、制御動作の中で個々に切替判定条件自体の演算を行う必要がなくなり、確実に高速度の制御特性が得られる。

【0083】また、請求項3の発明に係る3レベルインバータ装置は、非同期PWMモードまたは同期PWMモードである第1のPWMモードから同期PWMモードである第2のPWMモードへ切替える場合において、切替信号が出力された時点の上記第1のPWMモードのPWM周期における電圧指令ベクトルの位相角 θ_1 を検出する手段、上記位相角 θ_1 との差が所定値以内の位相角 θ_2 を有する上記第2のPWMモードのPWM周期を選択する手段、および上記選択された第2のPWMモードのPWM周期と上記第1のPWMモードのPWM周期とが切替判定条件を満足するか否かを判断する手段を備えたので、予め記憶しておくべき電圧ベクトルの出力順序のバ

タンの種類を最小限にでき、簡便迅速な制御動作で第1のPWMモードから第2のPWMモードへの切替が可能となる。

【0084】また、請求項4の発明に係る3レベルインバータ装置は、同期PWMモードから非同期PWMモードへ切替える場合において、上記同期PWMモードの各PWM周期の最初と最後の電圧ベクトルに中性点電圧ベクトル(直流電源の中性点出力端子に電流の出入を生じさせる電圧ベクトル)を配し、上記非同期PWMモードの各PWM周期の最初と最後の電圧ベクトルに零電圧ベクトル(すべての線間電圧が零となる電圧ベクトル)を配するようにしておき、切替信号が出力された時点の上記同期PWMモードのPWM周期との間で切替判定条件を満足する上記非同期PWMモードのPWM周期を選択し、この選択された上記非同期PWMモードのPWM周期へ切替えを実行する手段を備えたので、切替後のPWM周期の選択が迅速確実にでき、同期PWMモードから非同期PWMモードへの切替が高速になされる。

【0085】また、請求項5の発明に係る3レベルインバータ装置は、異なるPWMモードへ切替えるための切替信号を出力する場合の電圧指令ベクトルの周波数の切替基準値として、上記電圧指令ベクトルの周波数の増加時に設定する値より減少時に設定する値を小さくしたので、切替時の不必要なチャタリングが起らず、PWMモードの切替が円滑になされる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明における3レベルインバータ装置の構成図である。

【図2】 3レベルインバータの回路構成図である。

【図3】 3レベルインバータの電圧ベクトルを示す図である。

【図4】 電圧指令ベクトルの区間を示す図である。

【図5】 電圧指令ベクトルの領域を示す図である。

【図6】 電圧ベクトルに基づいたPWM方式の原理を示す図である。

【図7】 マイクロコンピュータ2の動作のフローチャートを示す図である。

【図8】 PWMモード決定方法のフローチャートを示す図である。

【図9】 非同期PWMモード(区間1, 2, 3)における電圧ベクトルの出力順序を示す図である。

【図10】 非同期PWMモード(区間4, 5, 6)における電圧ベクトルの出力順序を示す図である。

【図11】 スwitching素子の動作状態と出力電圧波形とを説明する図である。

【図12】 15パルス同期PWMモードの区間1で、電圧指令ベクトルの振幅kが変化した場合の電圧ベクトルの出力順序を示す図である。

【図13】 15パルス同期PWMモードの区間1で、電圧指令ベクトルの振幅kが変化した場合の電圧ベクト

ルの出力順序を示す図である。

【図14】 15パルス同期PWMモード（区間1，2，3）の電圧ベクトルの出力順序を示す図である。

【図15】 15パルス同期PWMモード（区間4，5，6）の電圧ベクトルの出力順序を示す図である。

【図16】 15パルス同期PWMモードにおける位相 θ_z の決定方法のフローチャートである。

【図17】 非同期PWMモードから15パルス同期PWMモードへのPWMモード切換判定のフローチャートを示す図である。

【図18】 15パルス同期PWMモードから非同期PWMモードへのPWMモード切換判定のフローチャートを示す図である。

【図19】 9パルス同期PWMモード（区間1，2，3）の電圧ベクトルの出力順序を示す図である。

【図20】 9パルス同期PWMモード（区間4，5，6）の電圧ベクトルの出力順序を示す図である。

【図21】 15パルス同期PWMモードから9パルス同期PWMモードへのPWMモード切換判定のフローチャートを示す図である。

【図22】 9パルス同期PWMモードから15パルス同期PWMモードへのPWMモード切換判定のフローチャートを示す図である。

ャートを示す図である。

【図23】 3パルス同期PWMモードの電圧ベクトルの出力順序を示す図である。

【図24】 1パルス同期PWMモードの電圧ベクトルの出力順序を示す図である。

【図25】 PWMモード切換周波数のヒステリシス幅を示す図である。

【図26】 PWMモード切換周波数にヒステリシス幅がある場合のPWMモード決定方法のフローチャートを示す図である。

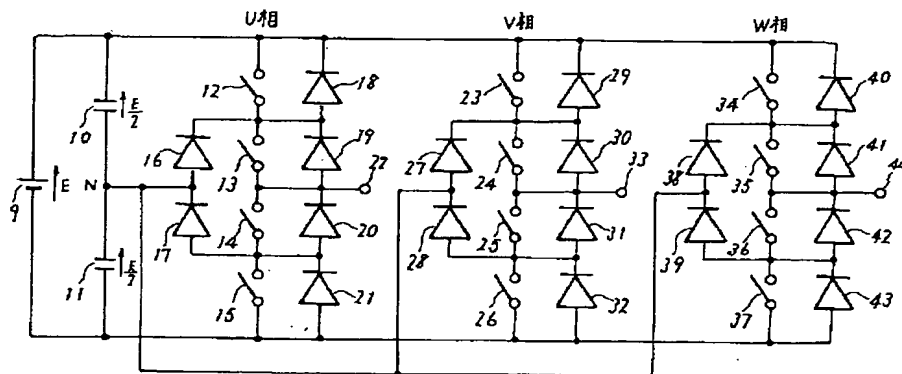
【図27】 PWMモード切換後の位相 θ_z を決定する2種類の方法について説明する図である。

【図28】 三角波比較PWM方式の原理を示す図である。

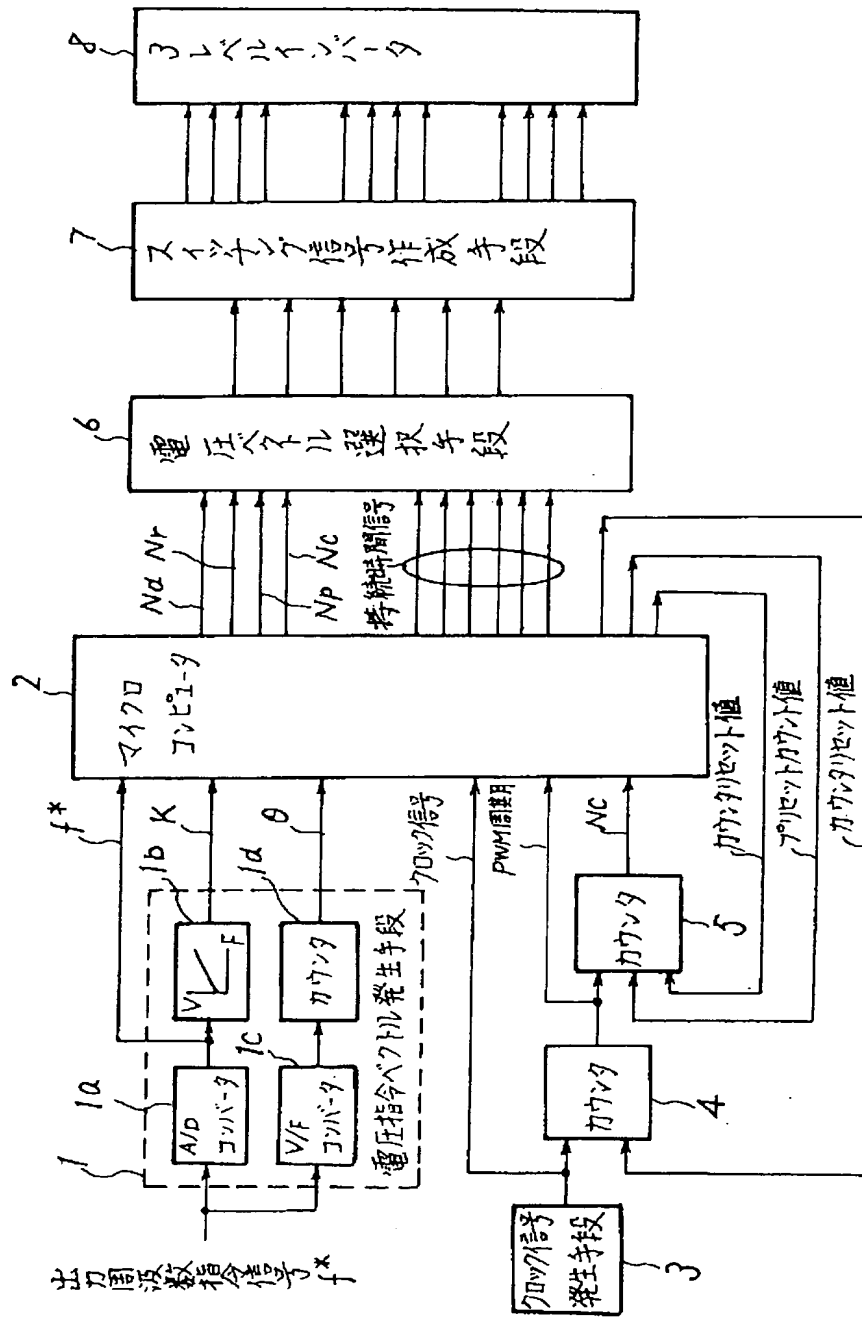
【符号の説明】

- 1 電圧指令ベクトル発生手段、2 マイクロコンピュータ、3 クロック信号発生手段、4，5 カウンタ、6 電圧ベクトル選択手段、7 スwitching信号作成手段、8 3レベルインバータ、9 直流電源、10，11 平滑コンデンサ、12～15，23～26，34～37 スwitching素子、22，33，44 出力端子。

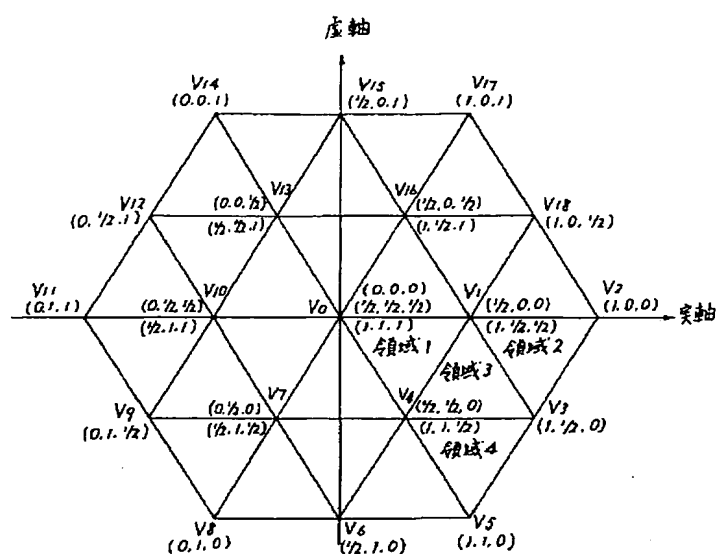
【図2】



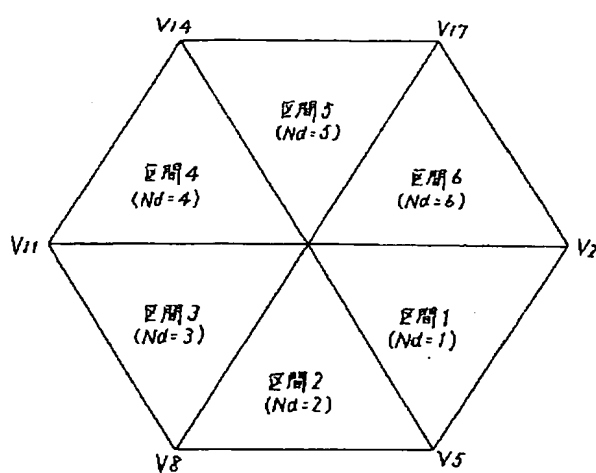
【図1】



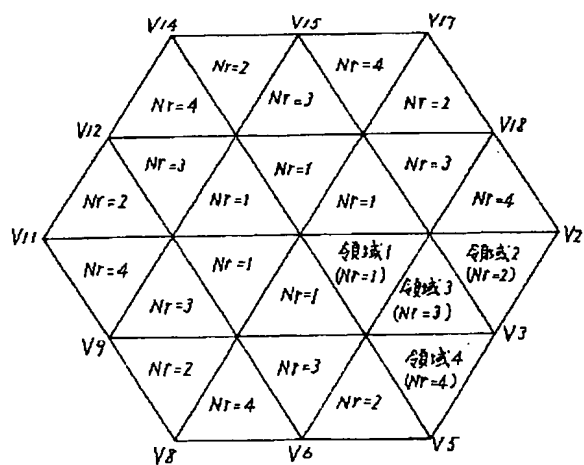
【圖 3】



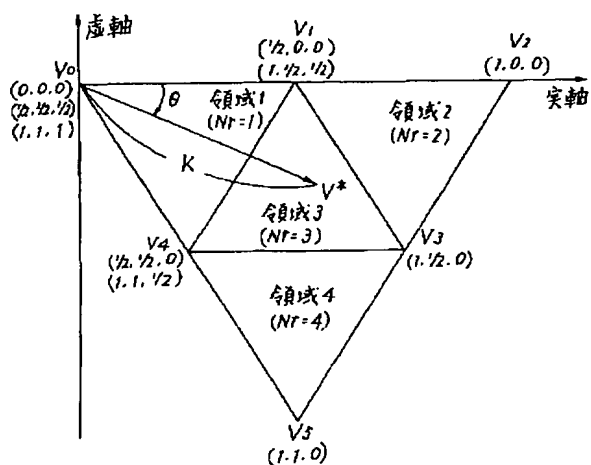
【圖 4】



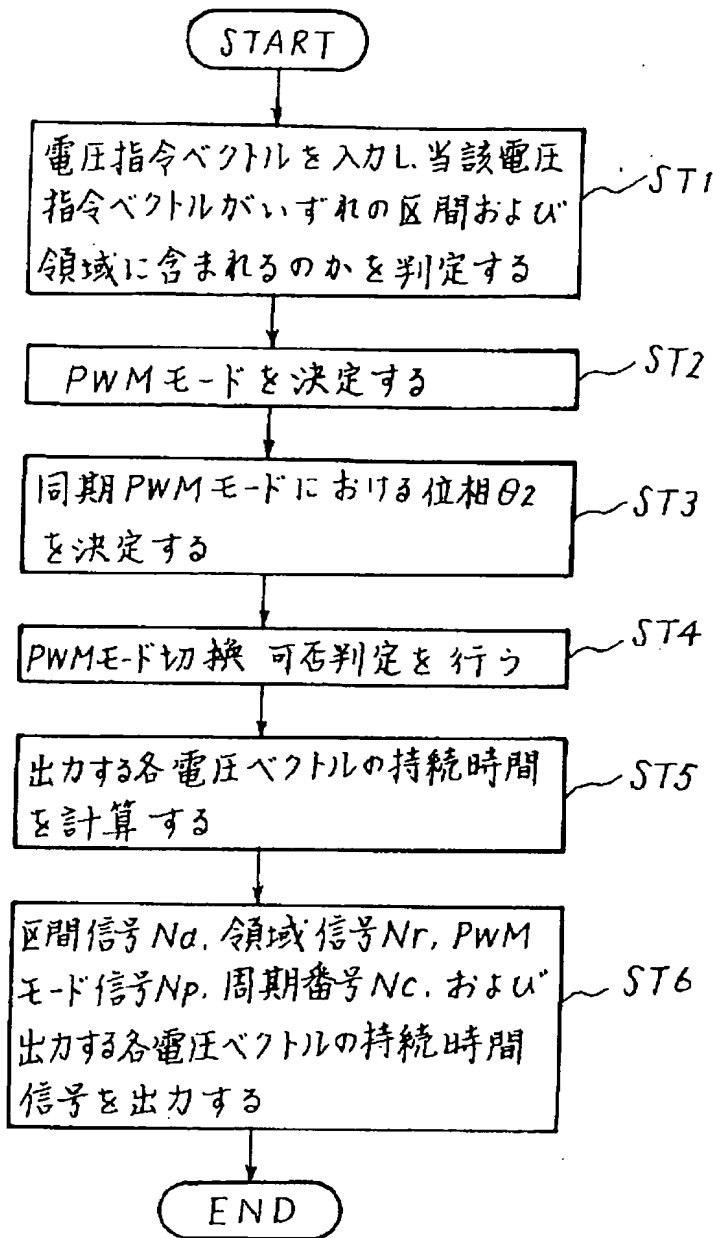
【圖 5】



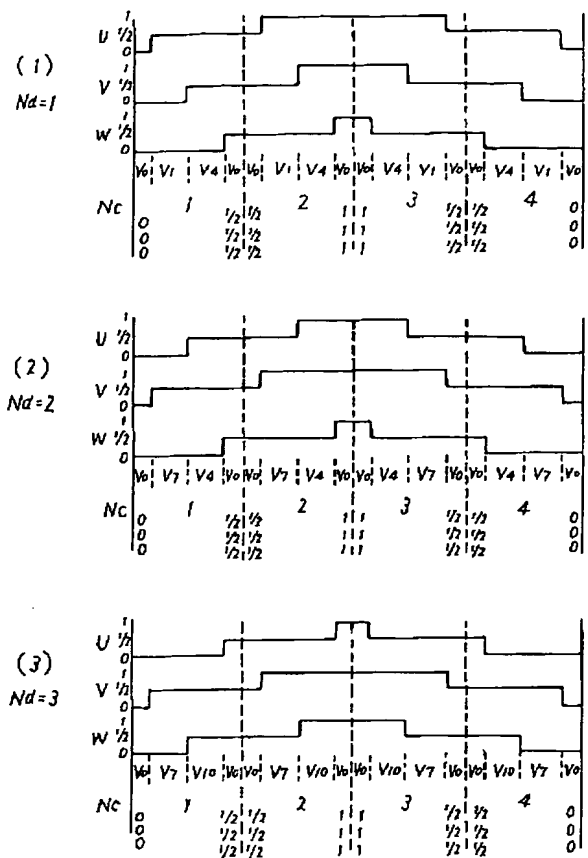
【圖 6】



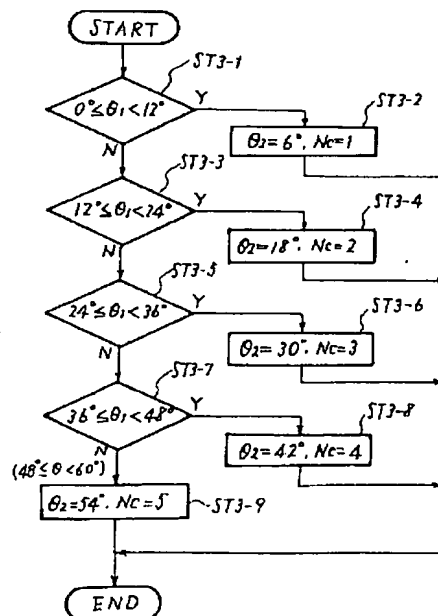
【図 7】



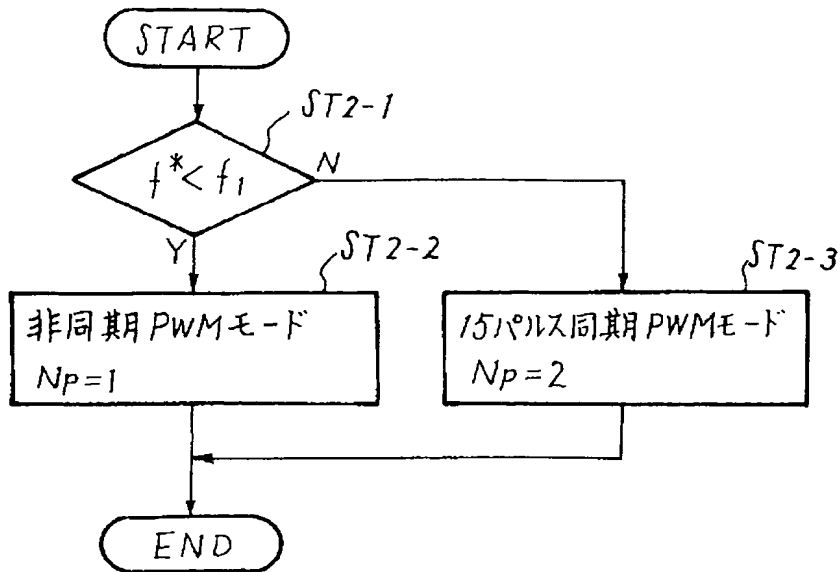
【図 9】



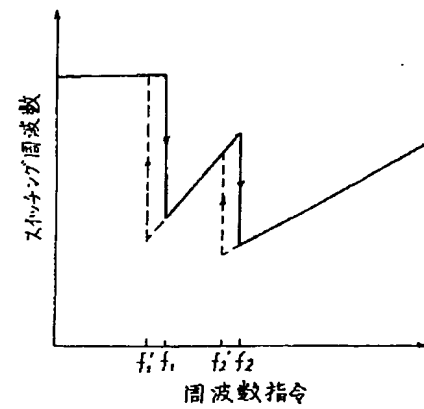
【図 16】



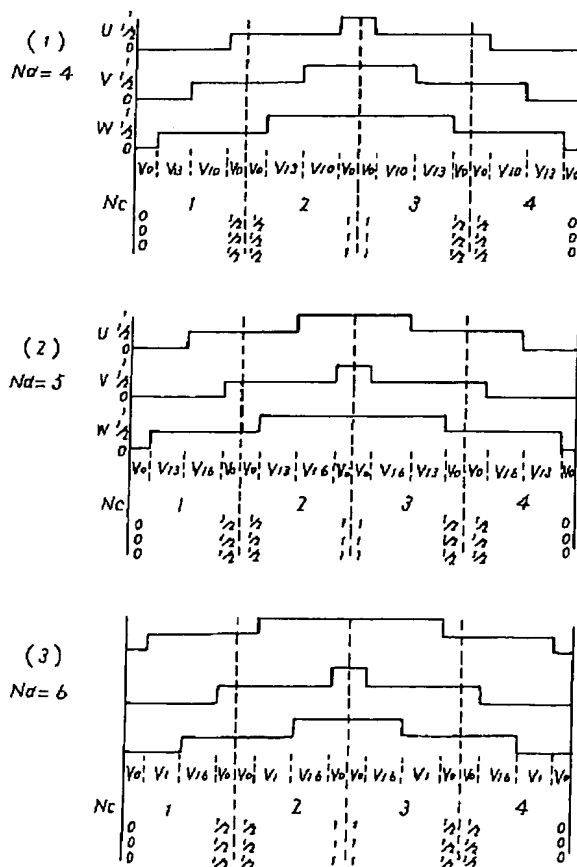
【図8】



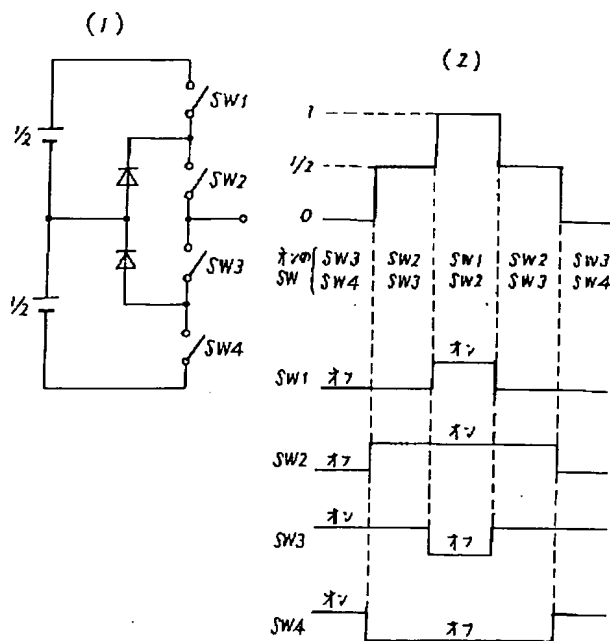
【図25】



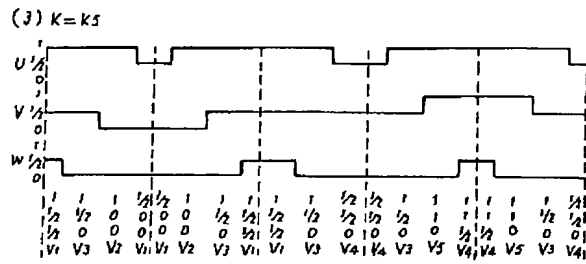
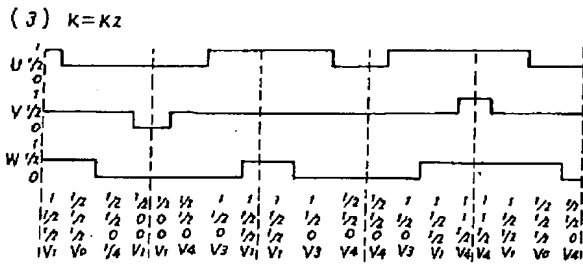
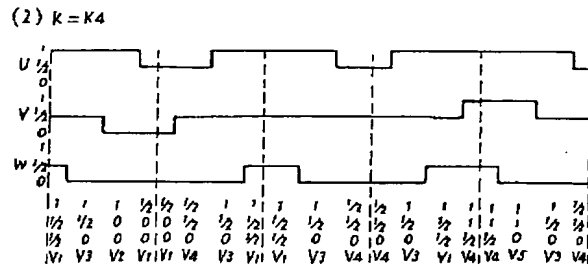
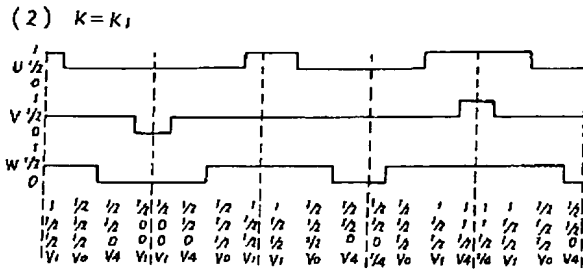
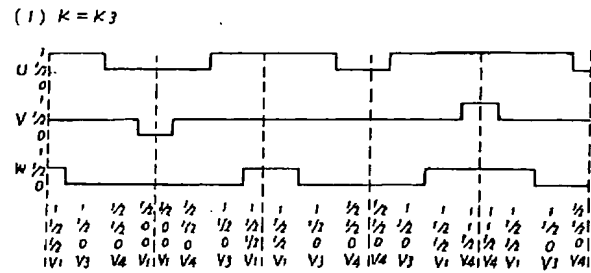
【図10】



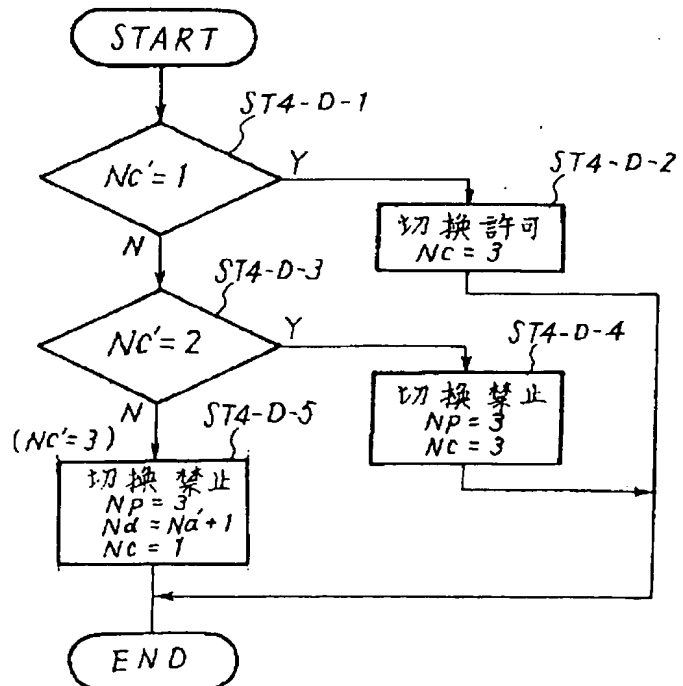
【図11】



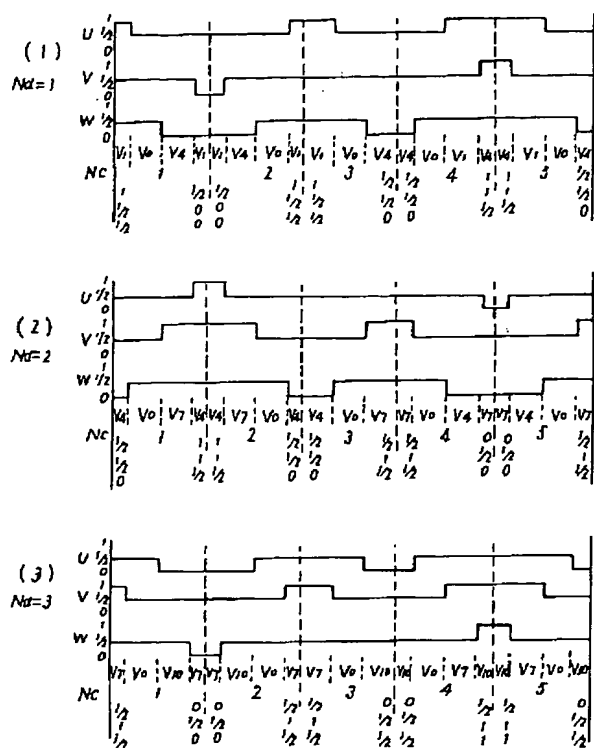
【図 13】



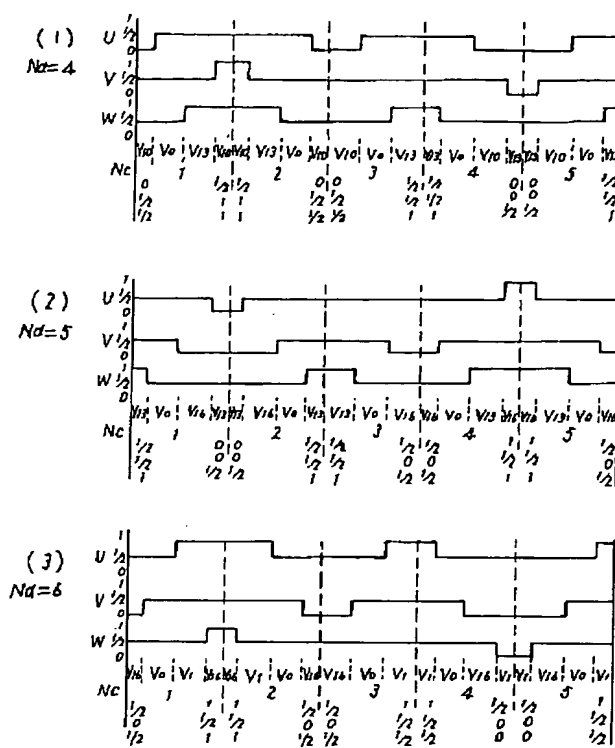
【図 2 2】



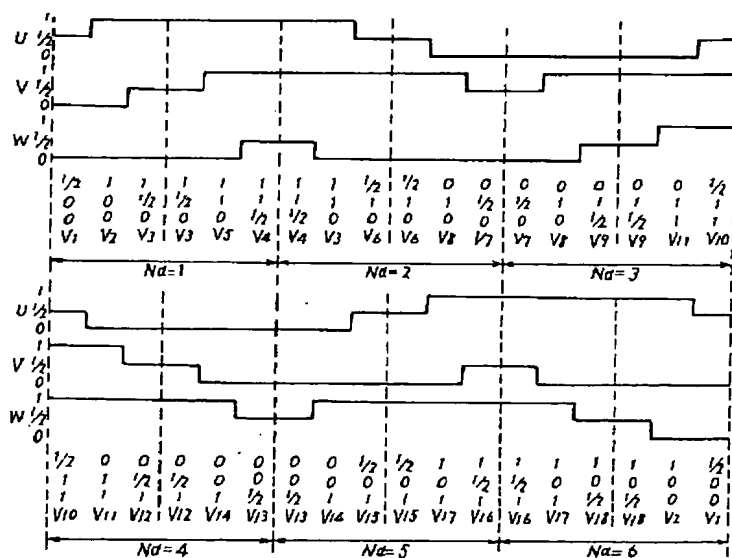
【圖 14】



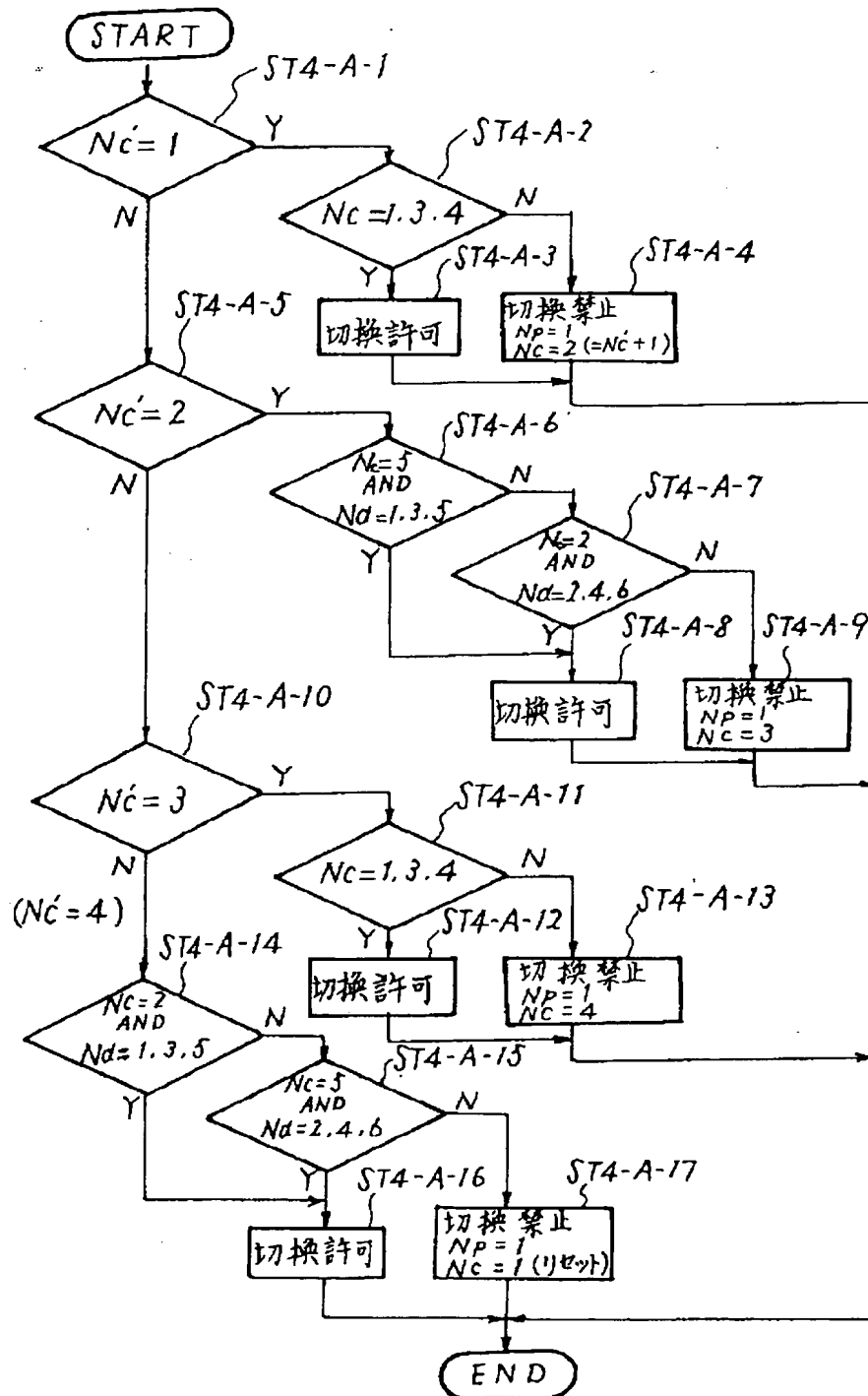
【圖 15】



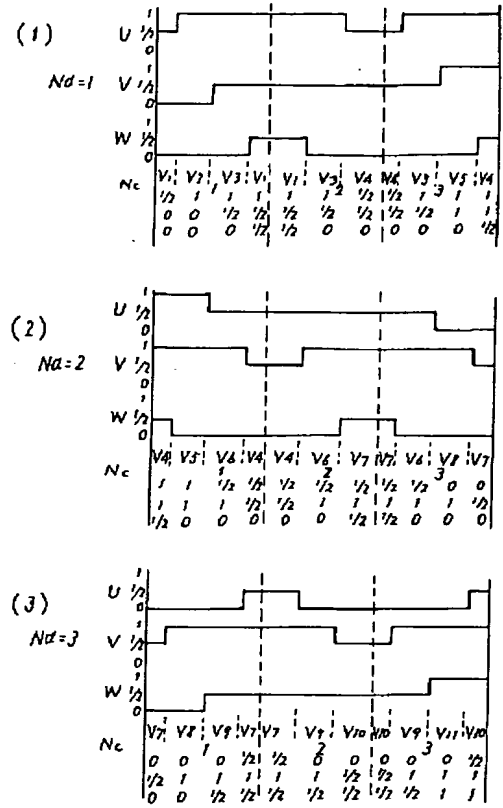
【圖 23】



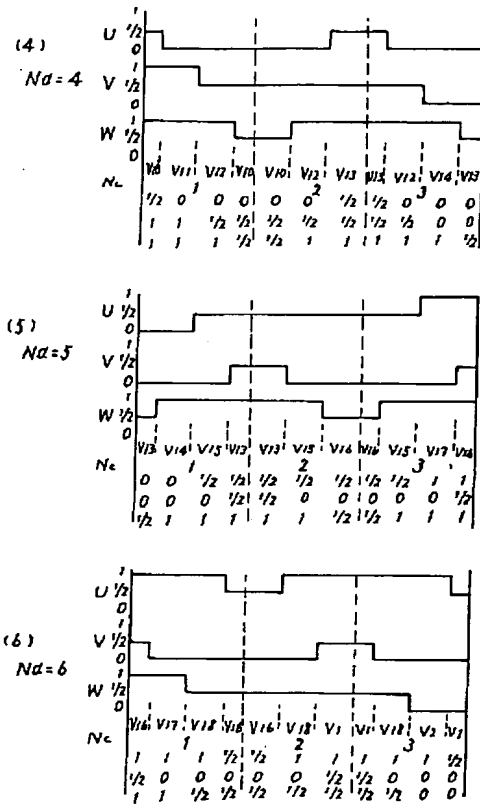
【図17】



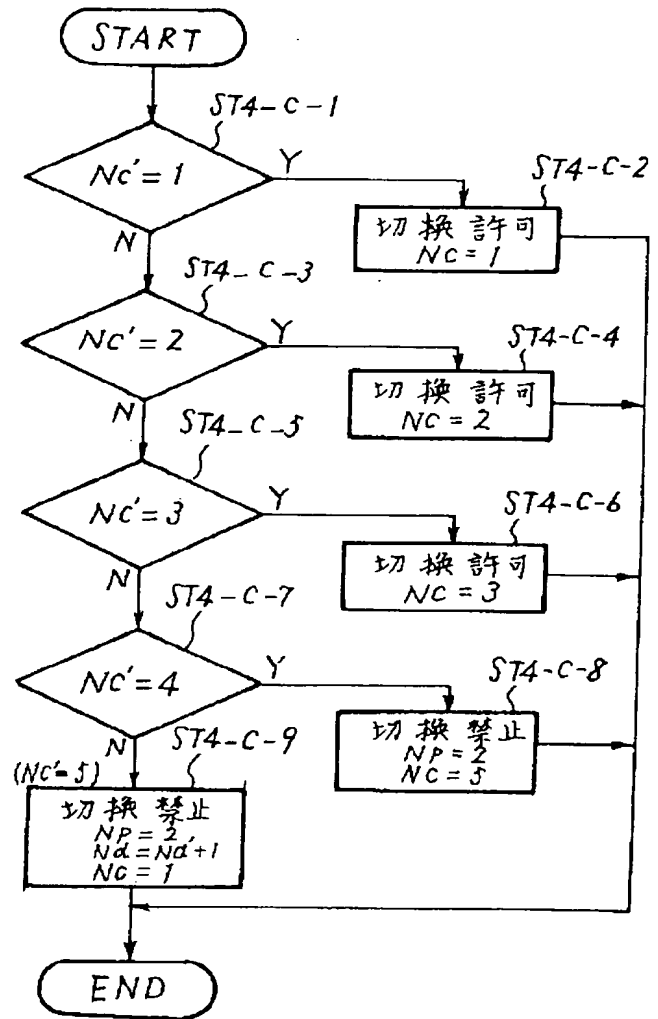
【図 19】



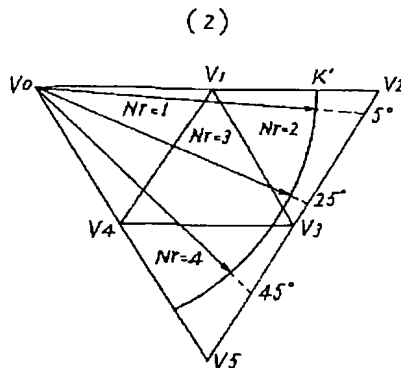
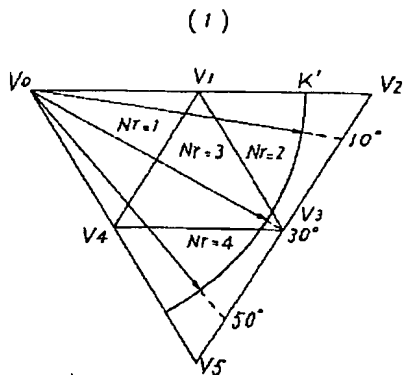
【圖 20】



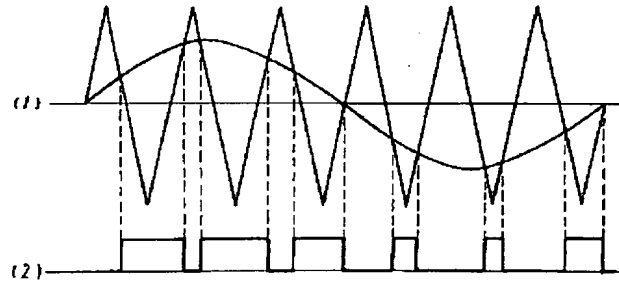
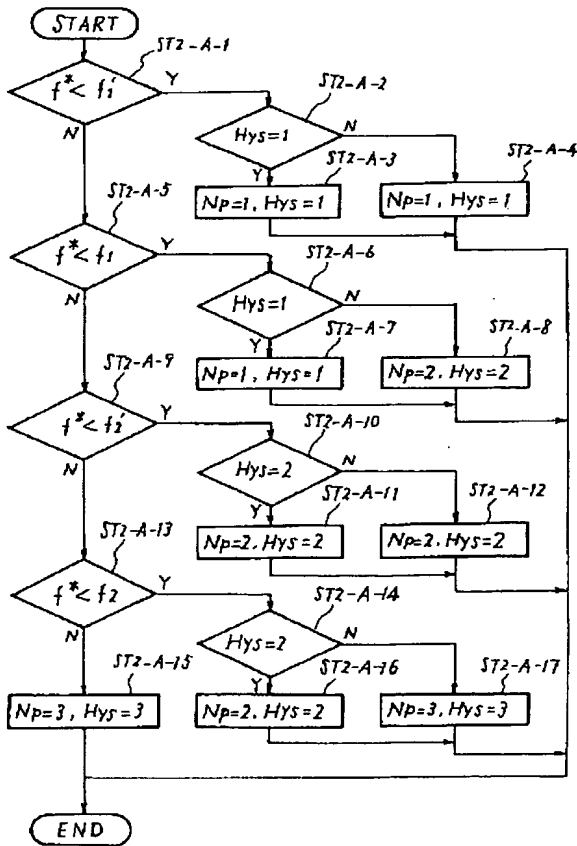
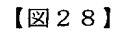
【圖 21】



【圖 27】



【図 26】



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.